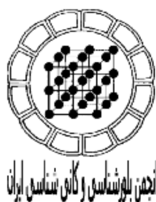
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۳۳۵ تا ۳۴۶



بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و زمین شیمیایی منطقه اکتشافی مس امیرآباد، شمال‌غرب نیشابور

فهیمه رحمانی[1]، آزاده ملکزاده شفارودی[*2]، مریم جاویدی مقدم[1]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۶/۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۹/۳۰)

چکیده: منطقه اکتشافی امیرآباد در شمال‌غرب شهرستان نیشابور، در استان خراسان‌رضوی واقع است. زمین‌شناسی منطقه شامل واحدهای آذرین نیمه‌عمیق (دیوریت‌پورفیری) با سن ائوسن پسین، آتشفشانی (آندزیت) و رسوبی (ماسه‌سنگ و کنگلومرا) با سن پالئوژن است. واحدهای رسوبی منطقه شامل تناوبی از ماسه‌سنگ سرخ اکسایشی، ماسه‌سنگ خاکستری و کنگلومراست. از نظر موقعیت زمین ساختی، ماسه‌سنگ‌ها در شرایط قوس قاره‌ای تا اقیانوسی در حوضه رسوبی نهشته شده‌اند. کانی‌سازی مس بصورت عدسی و لایه‌ای (هم درونزادی) در بخش‌هایی با ترکیب بیشتر لیت آرنایتی (درشت دانه) و دارای سنگواره‌های گیاهی فراوان رخ داده است. کانی‌سازی اولیه (با بافت‌های پراکنده، رگچه‌ای و جانشینی) شامل پیریت و کالکوسیت بوده است که طی مراحل برون‌زاد کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت و گوتیت ایجاد شده‌اند. بیشترین بی‌هنجاری‌های زمین شیمیایی در افق‌های کانی‌سازی برای مس ۶ درصد، نقره ۱۴ گرم در تن و روی ۹۹ گرم در تن است. بر پایه نوع سنگ میزبان، نوع کانی‌های سولفیدی، بافت و عوامل کنترل کننده کانه‌زایی (وجود آثار گیاهی به عنوان عامل احیا کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان) این منطقه شبیه کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه است.

واژه‌های کلیدی: *زمین شیمی؛ همزاد؛ کانی سازی مس رسوبی نوع سرخ لایه؛ امیرآباد؛ نیشابور.*

مقدمه

کانسارهای مس با میزبان رسوبی پس از کانسارهای مس پورفیری از مهم‌ترین منابع مس دنیا هستند، به طوریکه حدود ۲۳ درصد مس دنیا از این ذخایر تولید می‌شود [۱- ۳] ماهیت چندفلزی آنها (دارا بودن نقره) باعث افزایش ارزش اقتصادی آن‌ها می‌شود. این کانسارها با نام‌های مختلفی چون ذخایر مس چینه گران یا چینه سان با سنگ میزبان رسوبی(SCD)، مس همراه با سرخ لایه‌ها و مس ماسه‌سنگی شناخته می‌شوند [۴]. کانسارهای مس رسوبی در محیط هایی چون محیط‌های ساحلی، دریاچه‌ای و یا دریایی کم‌عمق و حوضه‌های تبخیری وابسته به آن‌ها تشکیل می‌شوند [۲].

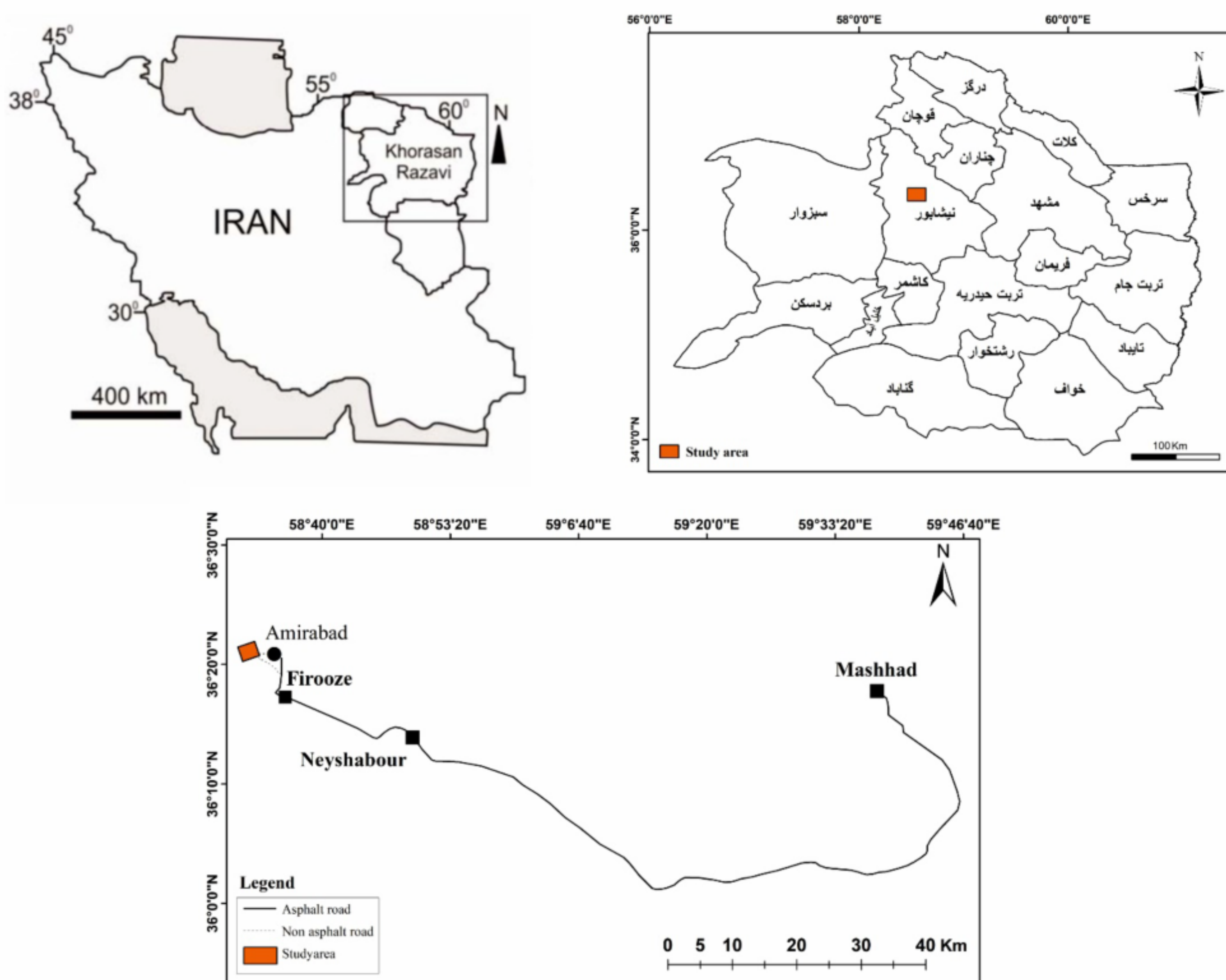
این نوع کانسارها درچند ساله اخیر در ایران نیز مورد توجه قرارگرفته‌اند [۵]. پهنه‌های ساختاری اصلی ایران که میزبان این کانسارها هستند عبارتند از پهنه زاگرس، قطعه طبس، پهنه ایران مرکزی، پهنه سبزوار و پهنه کپه داغ. کانسارهای نوع SCD در ایران در ادوارمختلف زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند، از جمله کامبرین-اردویسین (نهشته‌های ده معدن و خونگاه در پهنه زاگرس)، پرمین (کانسار قره‌تپه در پهنه ایران مرکزی)، ژوراسیک پسین (کانی‌سازی مس درسازند گره‌دو در راور-طبس-عشق‌آباد، ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین (کانی‌سازی در سازند شوریجه از پهنه کپه‌داغ)، الیگوسن تا میوسن (کانسار بنده-قیچی، نهشته‌های SCD ناحیه بوستان آباد-تبریز-تسوج

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵-۰۵۱۳، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.9.2]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.335]

و منطقه آوج دوزکند-مشمپا) و سرانجام پلیوسن (کانسار قره آغاج در پهنه ایران مرکزی) [۶]. محیط‌های اصلی زمین ساختی برای نهشته‌های SCD ایران، حوضه‌های کششی مربوط به کافت‌های درون قاره‌ای و پهنه‌های گسترش پسا برخورد هستند [۶]. رخداد مس امیرآباد در ۲۵ کیلومتری شمال‌غربی نیشابور، در استان خراسان رضوی و درگستره‌ای بین طول‌های ″۵۸°۳۲′۱۱ تا ″۵۸° ۳۳′۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۶°۲۰'۳۴ تا "۳۶°۲۱'۱۷ شمالی واقع است. نزدیک‌ترین روستا به این منطقه، روستای امیرآباد در ۴ کیلومتری شرق آن است (شکل ۱). براساس تقسیمات ساختاری، این منطقه در پهنه بینالود واقع بوده و جزئی از کمربند آتشفشانی-نفوذی سنوزوئیک قوچان-سبزوار است. این کمان ماگمایی با روند شمال غربی-جنوب شرقی در افیولیت سبزوار و پیرامون آن نفوذ کرده است و به سمت شمال تا کوه-های البرز ادامه دارد [۷]. تشکیل این کمان وابسته به پهنه فرورانش ورقه‌ی اقیانوسی نئوتتیس سبزوار درزیرصفحه توران است [۸، ۹]. کانی‌سازی‌های متعدد مس و آهن در ارتباط با فرایندهای ماگمایی-گرمابی چون معدن مس- طلا-اورانیوم-عناصر خاکی نادر سبک نوع مس-طلا همراه با اکسید آهن (IOCG) فیروزه نیشابور [۱۰]، مگنتیت-آپاتیت خانلق [۱۱] و مس المجوق [۱۲] در پهنه بینالود شناسایی گردیده‌اند. در مقابل، کانسار مس امیرآباد از نخستین کانسارهای رسوبی گزارش شده از این پهنه است. در این پژوهش، ویژگی های کانی‌شناسی، بافتی و زمین شیمیایی منطقه اکتشافی‌مس امیر-آباد بررسی شده است.



شکل ۱ موقعیت منطقه در استان خراسان رضوی و نقشه‌ی راه دسترسی به منطقه‌ی مورد بررسی.

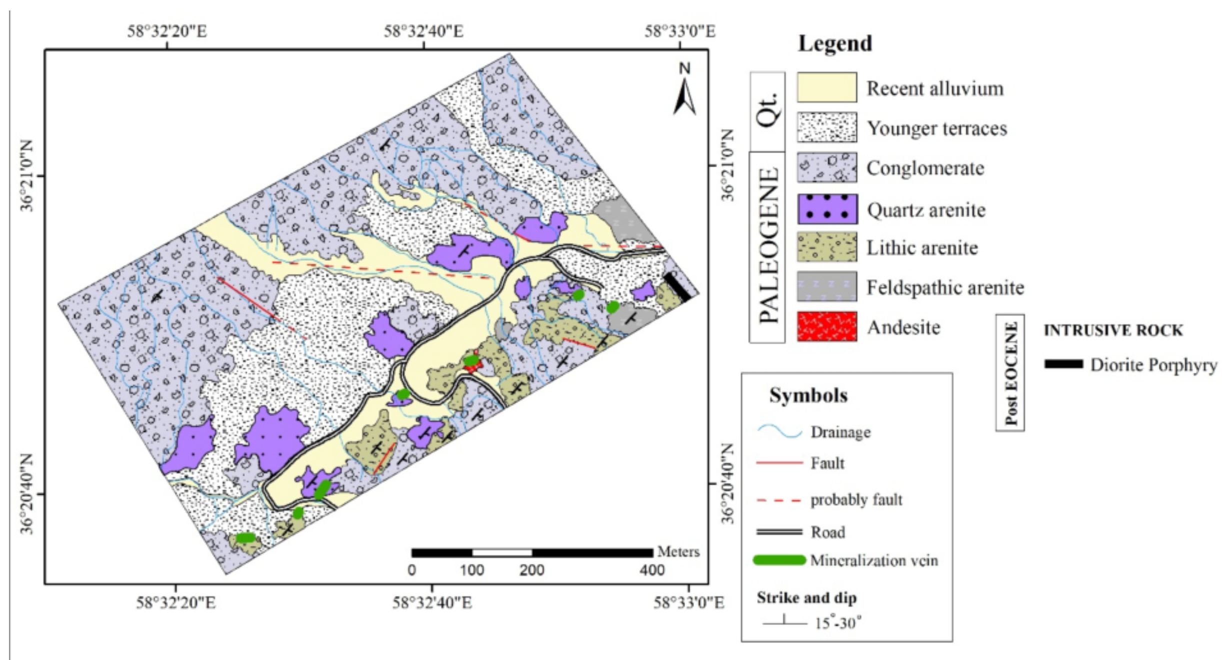
روش بررسی

برای دستیابی به اهداف این پژوهش، بررسی‌های صحرایی (ویژگی‌های ساختی، بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها) و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و کانی‌سازی (از سطح و ترانشه‌ها) در منطقه اکتشافی امیرآباد انجام شد. بیش از ۶۲ نمونه از واحدهای سنگی و کانی‌سازی برداشت و در مجموع، ۳۵ مقطع نازک، ۶ مقطع نازک صیقلی و ۶ قطعه صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی تهیه گردید. سرانجام نقشه زمین‌شناسی- کانی‌سازی منطقه با مقیاس ۱:۱۵۰۰۰ در نرم افزار ArcGIS تهیه شد. همچنین ۷ نمونه زمین شیمیایی به روش خرده‌سنگی از محل کانی‌سازی‌ها (سطح و ترانشه‌ها) برداشت و به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) برای ۳۴ عنصر در آزمایشگاه زرآزما تجزیه شدند. به دلیل بیشتر بودن مقدار مس در ۵ نمونه زمین شیمیایی از حد بالایی تشخیص ICP-OES، این عناصر به روش جذب‌اتمی (AAS) در آزمایشگاه کانسار-های بلورین آمتیس‌شرق تجزیه شدند. همچنین ۶ نمونه زمین شیمیایی به روش خرده‌سنگی از محل رخنمون‌های ماسه-سنگی برداشت گردید و به روش طیف‌سنجی فئورسانس پرتوی ایکس (XRF) در آزمایشگاه زرآزما تجزیه گردیدند.

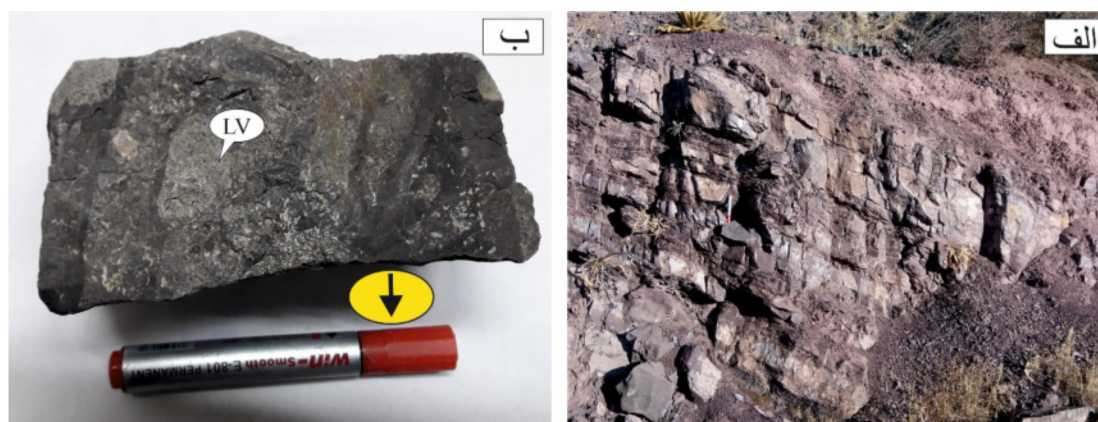
زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

منطقه مس امیرآباد در گوشه شمال‌غربی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ نیشابور [۱۳] واقع است. سن واحدهای سنگی این منطقه پالئوژن و ائوسن پیشین است. سنگ‌های رسوبی با سن پالئوژن بیشترین گسترش را در منطقه امیرآباد دارند. بر اساس بررسی-های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای رسوبی شناسایی شده در منطقه امیرآباد شامل آندزیت، آرنایت فلدسپاتیک، آرنایت سنگی، کوارتزآرنایت، کنگلومرا و دایک دیوریت‌پورفیری هستند. همچنین قدیمی‌ترین واحد شناسایی شده در منطقه دایک دیوریت پورفیری است که گسترش محدودی در شرق منطقه دارد. همچنین واحد آتشفشانی (آندزیت) گسترش بسیار محدودی در جنوب منطقه مورد بررسی دارد (شکل ۲).

برپایه‌ی بررسی‌های سنگ‌نگاری، واحدهای سنگی منطقه شامل واحدهای آذرین (دیوریت‌پورفیری، آندزیت) و رسوبی (ماسه‌سنگ وکنگلومرا) هستند. در منطقه اکتشافی امیرآباد، در افق‌های کانه‌ساز در سنگ میزبان ماسه‌سنگی دو پهنه ماسه-سنگ سرخ اکسایشی (شکل ۳ الف) و ماسه‌سنگ خاکستری شناسایی شدند. بر اساس تقسیم‌بندی مرجع [۱۴]، واحد ماسه‌سنگی شامل آرنایت فلدسپاتیک، آرنایت سنگی وکوارتز-آرنایت است. (شکل‌های ۲ و ۴).



شکل۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه امیرآباد.



شکل ۳ الف) تصویر صحرایی از واحد ماسه‌سنگ سرخ اکسایشی، ب) تصویر نمونه‌دستی ازکنگلومرا پیکان برای اشاره به مقیاس تصویر است (Lv= خرده‌سنگ آتشفشانی).

Age	Symbols	Lithology	Ore horizon
PALEOGENE		Conglomerate	
		Lithic arenite	
		Quartz arenite	
		Lithic arenite	
		Ore bearing Feldspathic arenite	

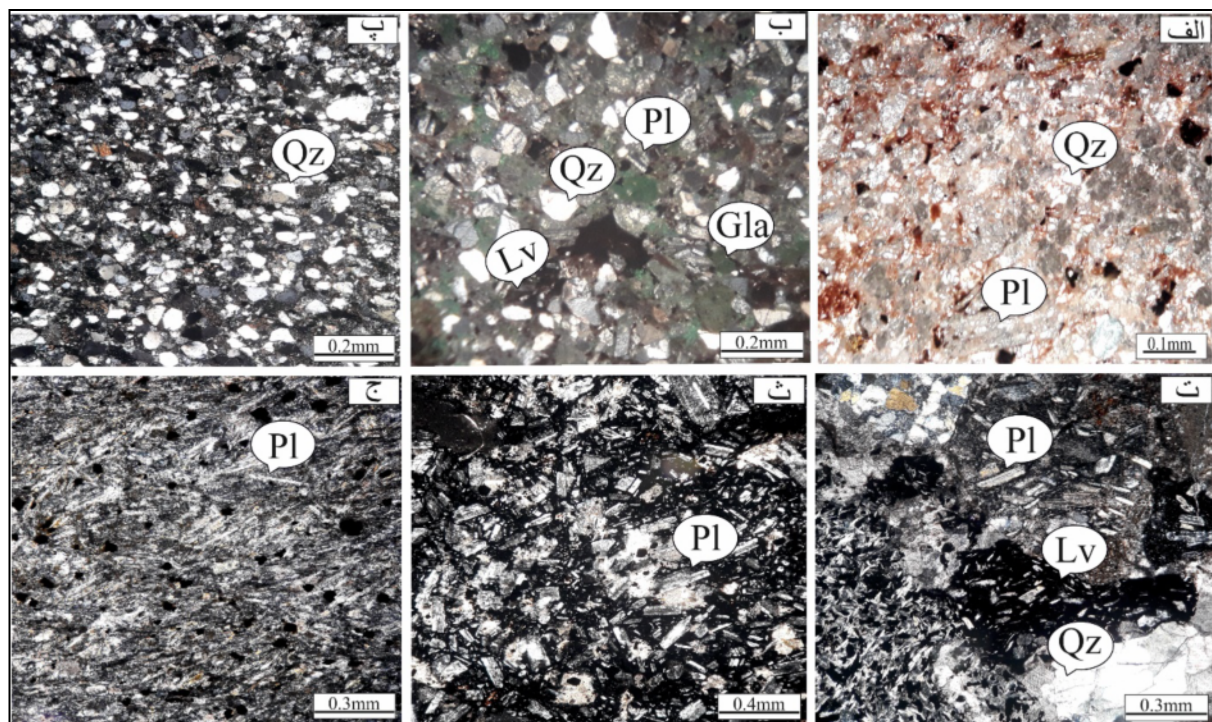
2m
0

شکل ۴ ستون چینه شناسی از منطقه اکتشافی امیرآباد و موقعیت افق احیایی کانه‌دار در آن.

واحد آرنایت فلدسپاتی با کمترین گسترش در جنوب منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت نابالغ بوده و بیشتر از کانی‌های کوارتزبا اندازه ۰/۱ تا ۰/۲ میلیمتر(۱۵-۱۰درصد حجمی)، پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۴۰-۳۵ درصد حجمی)، فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۳۰-۲۰درصد حجمی)، گلاکونیت با اندازه ۰/۰۱ تا ۰/۳ میلیمتر (۵ درصدحجمی) و سنگواره زیست آوار با اندازه ۲ میلیمتر (۲-۱ درصدحجمی) تشکیل شده است. این واحد همچنین دارای خرده‌سنگ‌های آتشفشانی، کربنات و چرت - است (شکل ۵ الف).

واحد آرنایت سنگی در بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی منطقه رخنمون دارد (شکل۲). این واحد دارای بافت نابالغ بوده و بیشتر شامل خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و کانی‌هایی از جمله کوارتز با اندازه ۰/۳ تا ۰/۵میلیمتر (۲۰_۱۵درصد حجمی)، پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۳ تا ۰/۵ میلیمتر (۳۰_۲۰ درصدحجمی)، کلسیت با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۵-۳ درصد حجمی)، گلاکونیت با اندازه ۰/۱ میلیمتر (۵ درصدحجمی)، دارای سنگواره‌های خارپوستان با اندازه ۰/۴ میلیمتر (۱ درصد حجمی)، سنگواره زیست آوار با اندازه ۳ میلیمتر (۵ درصد حجمی) و سنگواره نومولیت با اندازه ۰/۴ میلیمتر (۵ درصد حجمی) است. خرده‌سنگ‌های آتشفشانی اغلب دربردارنده بلورهای نازک و کشیده پلاژیوکلاز در زمینه‌ای با بافت ریزدانه و یا شیشه‌ای هستند (شکل ۵ ب). خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و قطعه‌های کربناتی بیشتر ترکیب حدواسط (در حد آندزیت، تراکیت) داشته و به مقدار کمتر ترکیب اسیدی (داسیت) دارند. قطعه های آهکی و چرت نیز به مقدار کم در این واحد شناسایی گردید. سیمان بین قطعه‌های بیشتر کربناتی است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.9.2]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.335]



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از الف) واحد کوارتزآرنایت، ب) واحد آرنایت سنگی، پ) واحد آرنایت فلدسپاتی، ت) واحد کنگلومرا، ث) واحد آندزیت و ج) واحد دیوریت پورفیری. (Qz= کوارتز، Pl= پلاژیوکلاز، Cal= کلسیت، Lv= خرده‌سنگ آتشفشانی، Gla= گلاکونیت [۱۵]).

واحد کوارتزآرنایت بطور محدود در بخش‌های جنوب، جنوب-غرب و مرکز منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت بالغ و شامل کانی‌هایی از جمله کوارتز با اندازه ۰/۱ تا ۰/۳میلیمتر (۹۰درصدحجمی)، کلسیت با اندازه درحد ۰/۲-۰/۳میلیمتر (۵ درصدحجمی) و به مقدار کمتر پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۰۳-۰/۲ میلیمتر (۳-۲درصدحجمی) و گلاکونیت با اندازه ۰/۳ میلیمتر (۱ درصد حجمی) است. این واحد دارای خرده‌سنگ‌های آتشفشانی (با ترکیب حدواسط) و آهکی است (کمتر از ۲ درصد). همچنین در برخی نمونه‌ها، رگچه‌های مالاکیت، اکسیدآهن و کربنات نیز شناسایی شده‌اند. سیمان بین قطعه‌ها بیشتر کربناتی است (شکل ۵ پ).

واحد کنگلومرایی بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد (شکل‌های ۲ و شکل ۳ ب). اندازه قطعه‌ها در این واحد از چند میلی‌متر تا ۱۵ سانتی‌متر بوده و جنس آنها آتشفشانی، ماسه‌سنگی، آهکی و چرت است. سیمان بین قطعه-های بیشتر کربناتی است. در بخش جنوب و جنوب‌شرق منطقه دانه‌ها جورشدگی و گردشدگی خوبی ندارند. در بخش شمال و شمال‌غرب منطقه، اندازه قطعه‌های از چند میلی‌متر تا ۷۵ سانتی متر متغیر است. در این واحد، کانی‌های کوارتز با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۲۰-۱۵درصد حجمی)، پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۰۱ تا ۰/۱ میلیمتر (۳۰-۲۵ درصدحجمی)، کلسیت با اندازه ۲ میلیمتر (۱۰-۵ درصد حجمی)، هورنبلند با اندازه ۱ میلیمتر (۳-۲ درصد حجمی)، سنگواره‌های بازو پایان با اندازه ۱/۵ میلیمتر (۵ درصد حجمی)، اوئید با اندازه ۰/۲ (۵ درصد حجمی)، آنکوئید با اندازه ۰/۱ میلیمتر (۲ درصد حجمی)، و زیست آوار با اندازه ۲ میلیمتر (۵ درصد حجمی) نیز شناسایی گردیدند (شکل ۵ ت) .

واحدآندزیت گسترش محدودی در جنوب شرق منطقه دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت شیشه‌ای و پورفیری است و نزدیک به ۴۵ تا ۵۰ درصد درشت‌بلور دارد. این واحد شامل کانی‌های پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۴ تا ۱میلیمتر (۴۵-۴۰ درصد حجمی)، هورنبلند با اندازه ۰/۳ میلیمتر (۳-۲ درصدحجمی) و پیروکسن با اندازه ۰/۲ میلیمتر (۳-۲ درصد حجمی) است و بقیه سنگ نیز زمینه‌ی شیشه‌ای تشکیل می‌دهد. در بعضی بخش‌ها، پلاژیوکلازها به‌کانی رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ث).

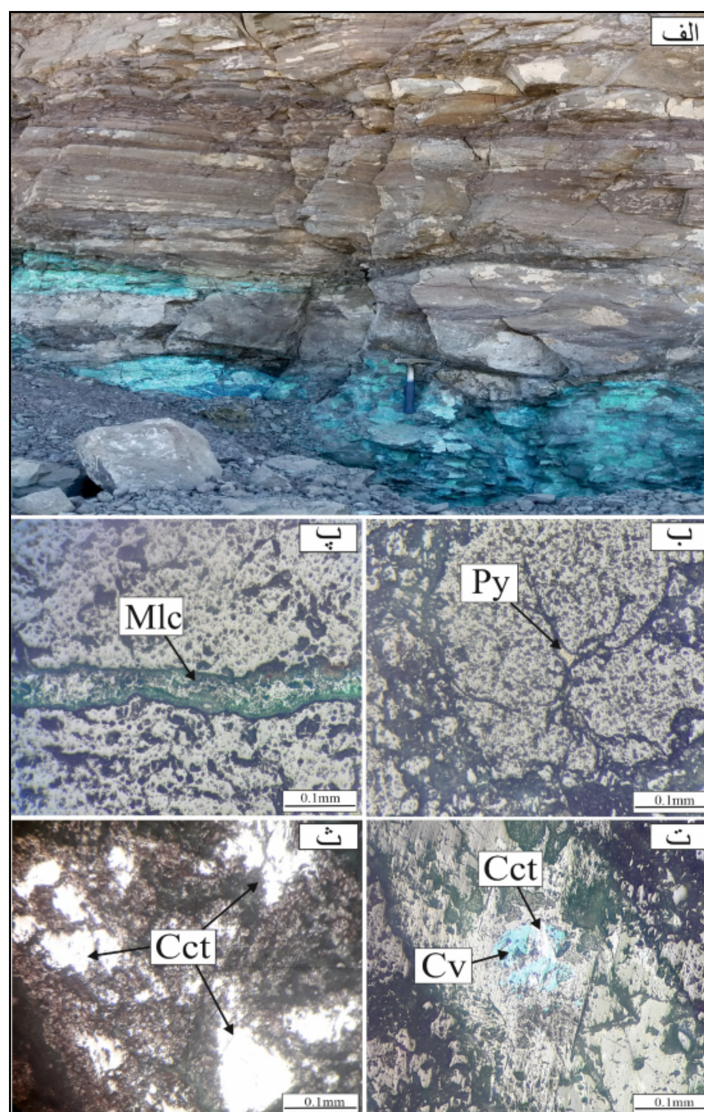
دایک دیوریت‌پورفیری قدیمی‌ترین واحد شناسایی شده در منطقه است که گسترش محدودی درشرق منطقه دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری است و نزدیک به ۴۵ تا ۵۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.9.2]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.335]

درصد درشت بلور دارد. کانی‌های آن شامل پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۵۰-۴۵ درصد حجمی)، فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر (۵-۳ درصد حجمی)، هورنبلند با اندازه ۰/۱ تا ۰/۳ میلیمتر (۵-۴ درصد حجمی) و پیروکسن (۲-۱ درصد حجمی) هستند. در این واحد، زمینه به شدت کربناتی شده است و پلاژیوکلازها به کانی رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ج).

کانی‌سازی

در منطقه مس امیر آباد، کانی‌سازی به شکل لایه‌ای و عدسی (شکل‌های ۴ و ۶ الف) در واحدهای رسوبی (تناوب ماسه‌سنگ وکنگلومرا) وهم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان به صورت هم-درونزادی رخ داده است. همچنین به مقدار بسیار محدود کانی-زایی مس در واحد آندزیتی نیزشناسایی گردید. در افق‌های کانه‌دار درسنگ میزبان ماسه‌سنگی، دوپهنه شناسایی شدند که عبارتند از پهنه سرخ اکسایشی و پهنه احیایی کانه‌زایی شده (شکل ۴). تعیین شرایط کانه‌زایی کانسارهای مس‌چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی نیازمند بررسی‌های گسترده در سنگ میزبان لایه‌های احیایی و همچنین لایه‌های سرخ است [۱۶-۲۰].



شکل ۶ الف) تصویر صحرایی از کانی‌سازی به شکل عدسی هم‌روند با سنگ میزبان ماسه‌سنگی، ب) کانی پیریت با بافت پراکنده، پ) رگچه مالاکیت، کالکوسیت و کوولیت، ت) کالکوسیت و کوولیت و ث) کالکوسیت اولیه . (Py= پیریت، Mlc= مالاکیت، Cct= کالکوسیت، Cv= کوولیت [۱۵]).

پهنه سرخ اکسایشی درصحرا به رنگ قرمز- قهوه‌ای تا سرخ دیده می‌شود. ترکیب سنگی این بخش بیشتر از کوارتزآرنایت تا آرنایت فلدسپاتی و آرنایت سنگی است. رنگ قرمز آن به دلیل حضوراکسیدها وهیدروکسیدهای آهن است. هیدروکسیدهای آهن به صورت قشرنازکی پیرامون قطعه‌های آواری و دانه‌های کوارتز وجود دارند.

در پهنه احیایی (کانی‌زایی شده)، کانی‌سازی به صورت لایه‌ای تا عدسی شکل رخ داده است (شکل ۶ الف). در حضور بقایای گیاهی با افزایش نفوذپذیری سنگ میزبان، کانه‌زایی تشدید شده و با کاهش آن، از شدت کانی‌زایی کاسته می‌شود. سنگواره گیاهی با ایجاد یک محیط احیا پیرامون خود، باعث ته‌نشست مس و دیگر عناصر فلزی موجود در سیال اکسایشی عبور کننده از درون منافذ می‌شود [۲۱]. در منطقه امیر آباد، هرجا که موادآلی وجود داشته‌اند کانی‌زایی رخ داده است، شدت کانی‌زایی درقاعده ماسه‌سنگ‌ها به دلیل فراوانی بقایای گیاهی، بیشتراست (شکل ۷). افزون بر وجود سنگواره گیاهی، کانی‌سازی درون بخش‌های آرنایتی سنگی درشت دانه (نفوذ پذیر) رخ داده است. بنابراین می‌توان گفت که وجود گیاه به عنوان عامل احیایی و نفوذپذیری سنگ میزبان برای کانی‌سازی در منطقه امیر آباد مهم است.

از دید کانی‌شناسی، کانسار مس امیرآباد دارای کانی‌های اولیه سولفیدی پیریت و کالکوسیت است که طی مراحل برون-زاد کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت و گوتیت ایجاد شده‌اند (شکل‌های ۶ ب، پ و ت). در این منطقه، حدود شش ستون چینه بررسی شده‌اند و ضخامت لایه‌های کانی‌سازی بین ۲۵ سانتی‌متر تا ۱ متر و شیب آنها ۱۵ تا ۳۰ درجه است. کانی‌سازی بیشتر با بافت جانشینی، رگچه و به مقدار کمتر با بافت پراکنده در منطقه مورد بررسی دیده گردید.

کانی پیریت بصورت شکل‌دار و با اندازه ۰/۰۲ تا ۰/۱ میلی-متر دارای بافت پراکنده است (شکل ۶ ب). کالکوسیت کانی سولفیدی اصلی در کانسار مس امیر آباد بوده که دارای دو نسل است. کالکوسیت اولیه بصورت پراکنده، جانشینی و رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل ۶ ث). نسل دوم کالکوسیت‌های ثانویه هستند که در اثر فرایندهای برون‌زاد ایجاد شده‌اند. کوولیت کانی ثانویه سولفیدی است که در اثر جانشینی ثانویه در لبه کانی کالکوسیت ایجاد می‌شود (شکل ۶ ت). مالاکیت فراوان-ترین کانی در رخداد معدنی منطقه امیرآباد است (شکل‌های ۶ الف، پ و ۷). این کانی از اکسایش کانی‌های سولفیدی اولیه مس (کالکوسیت) ایجاد شده است.

زمین شیمی

زمین شیمی پهنه کانی‌سازی

بر اساس نتایج زمین شیمیایی پهنه‌های کانی‌سازی، مقدار مس از ۲/۵۷ درصد تا بیش از ۶ درصد در تغییر است. بیشترین مقدار مس مربوط به واحد آرنایت سنگی است که در بخش جنوب منطقه مورد بررسی رخنمون دارد. مس موجود در این واحد مربوط به حضورکوولیت، کالکوسیت و مالاکیت است. مقدار نقره بین ۴ تا ۱۴ گرم در تن در تغییر است. بیشترین مقدار این عنصر مربوط به واحد آرنایت سنگی بوده که در جنوب منطقه موردبررسی رخنمون یافته است. مقدار سرب از ۴ تا ۸ گرم درتن در تغییر بوده و بیشترین مقدار آن مربوط به واحد کوارتزآرنایت است. این واحد در مرکز منطقه گسترش یافته است. مقدار روی بین ۵۵ تا ۹۹ گرم در تن در تغییر بوده و بیشترین مقدار آن نیز مربوط به واحد کوارتزآرنایت در مرکز منطقه مورد بررسی است. هیچ کانی مستقلی برای نقره، سرب و روی در منطقه مورد بررسی شناسایی نشد.

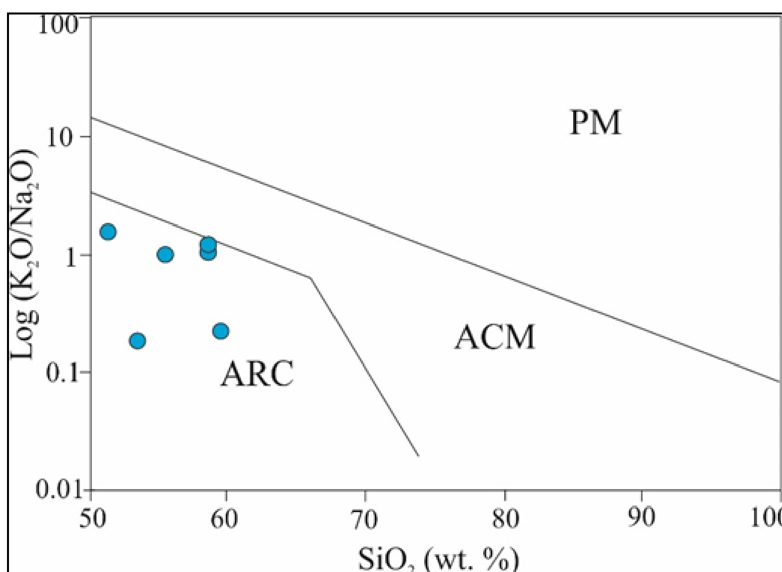


شکل ۷ تصویر صحرایی از الف) سنگواره‌های گیاهی که با کالکوسیت جانشین شده‌اند و ب) آثار سنگواره گیاهی در واحد کوارتز آرنایت. (Mlc= مالاکیت [۱۵])

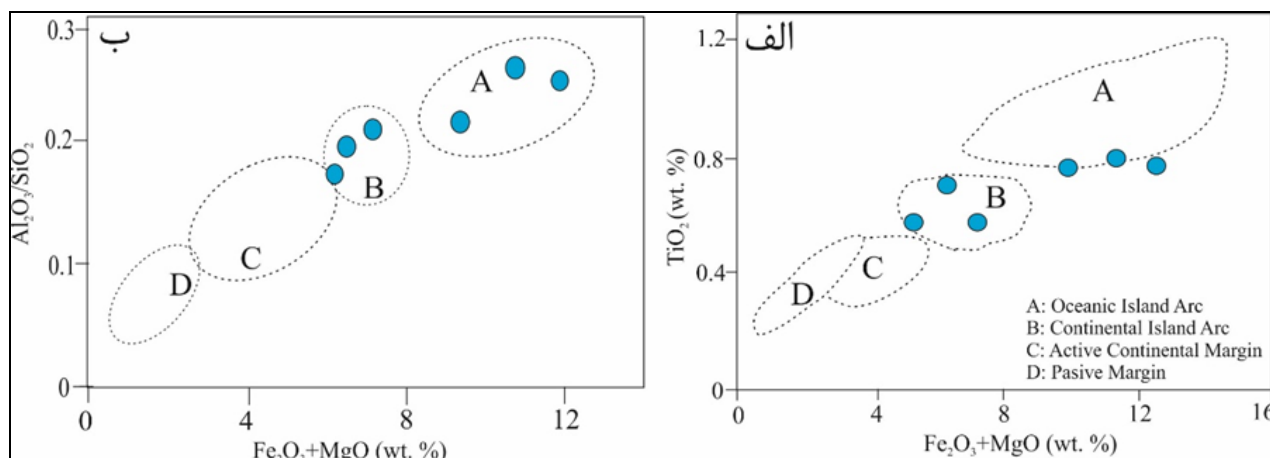
زمین شیمی سنگ میزبان ماسه‌سنگی

بر اساس نتایج زمین شیمیایی اکسیدهای اصلی از واحدهای ماسه‌سنگی منطقه امیرآباد، تغیرات SiO_2 از ۵۱/۴۹ تا ۵۹/۱۹ درصد، Al_2O_3 از ۹/۵۳ تا ۱۶/۲۷ درصد، CaO از ۲/۵۶ تا ۱۳/۲۳ درصد، Fe_2O_3 از ۳/۸۷ تا ۶/۴۴ درصد، K_2O از ۰/۶۵ تا ۲/۳ درصد، MgO از ۱/۷۷ تا ۵/۳۹ درصد، MnO از ۰/۰۸ تا ۰/۱۹ درصد، Na_2O از ۰/۷۱ تا ۴/۴۵ درصد، P_2O_5 از ۰/۱۱ تا ۰/۱۹ درصد و TiO_2 از ۰/۱۱ تا ۰/۱۹ درصد است. توزیع عناصر اصلی، نشانگر کانی‌شناسی نمونه‌های مورد بررسی است. مقادیر بالای CaO در این نمونه‌ها می تواند به دلیل حضور سیمان کربناتی و کلسیت باشد. مقادیر Fe_2O_3 می‌تواند مربوط به اکسیدهای آهن در بخش ماسه‌سنگ سرخ اکسایشی باشد. مقدار بالای Al_2O_3 نیز مربوط به وجود فلدسپارها و همچنین کانی‌های رسی در واحد ماسه‌سنگی است.

بر پایه مقدار اکسیدهای اصلی می‌توان موقعیت زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها را مشخص نمود. در نمودار مقدار SiO_2 نسبت به $LogK_2O/Na_2O$ برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی (شکل ۸) [۲۲]، ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی در حوضه قوسی قرار دارند. همچنین بر اساس نمودارهای مقدار TiO_2 نسبت به Fe_2O_3+MgO (شکل ۹ الف) و Al_2O_3/SiO_2 نسبت به Fe_2O_3+MgO (شکل ۹ ب)، برای تفکیک محیط‌های زمین ساختی [۲۳]، ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد بررسی در یک حوضه رسوبی وابسته به قوس ماگمایی قاره‌ای تا اقیانوسی نهشته شده‌اند.



شکل ۸ نمودار تفکیک موقعیت زمین ساختی در ماسه‌سنگ‌های منطقه امیر آباد [۲۲].



شکل۹ نمودار تفکیک کننده موقعیت تکتونیکی در ماسه‌سنگ‌های منطقه امیر آباد [۲۳].

نوع کانی‌زایی

در کانسارهای مس رسوبی، کانی‌سازی به طور کلی در واحدهای رسوبی با سنگوارەهای گیاهی (برای مثال قطعه های چوب) در ارتباط بوده و این حالت تنها شاخص ذخایر نوع سرخ لایه است و کانه‌های اصلی شامل کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، گالن، اسفالریت، کوولیت و کریزوکلا هستند که دو مورد آخر اغلب خاستگاه برونزادی دارند [۶]. کانه‌زایی مس درمنطقه مورد بررسی در واحد ماسه‌سنگی (با فراوانی بقایای گیاهی) به شکل لایه‌ای و عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان به صورت همزاد رخ داده است. کانی‌های اولیه سولفیدی پیریت و کالکوسیت و کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت و گوتیت با بافت جانشینی، سیمان میان بلوری، رگچه و به مقدار کمتر با بافت پراکنده ایجاد شده‌اند.

برخی پژوهشگران [۲۴، ۲۵] کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی را به ۳ گروه اصلی شامل رخساره‌های احیایی (RF)، لایه‌های سرخ رنگ (RB) و ماسه سنگی احیایی (RV) تقسیم کرده‌اند. سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه بصورت لایه‌ای و اغلب با کنگلومرا و ماسه سنگ‌ها (به ویژه آرکوز سنگی) همراه هستند [۳]. این دسته از کانسارها در فصل مشترک ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز اکسایشی و خاکستری احیایی تشکیل می‌شوند [۱]. بر اساس موقعیت زمین ساختی، محیط ته نشست، سنگ میزبان، سنگوارەهای گیاهی، هندسه، ساخت، بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی، کانسار امیرآباد شباهت بسیاری با کانسارهای مس‌رسوبی نوع سرخ لایه دارد (جدول ۱).

جدول ۱ مقایسه و ویژگی‌های کانسار امیرآباد با انواع مختلف کانسارهای مس با میزبان‌رسوبی

	کانسارهای مس استراتی فرم با میزبان رسوبی			کانسارمس امیرآباد
	افق قرمز	ذخایر ماسه سنگی (ریوت)	رخساره احیایی	
سن	نئوپروتروزوئیک - اواخر مزوزوئیک - اوایل سنوزوئیک		اواخر- اواسط نئوپروتروزوئیک	پالئوژن
محیط تکتونیکی	ریفت - حوضه های ملاس پس از کوهزایی	ریفت	اولاکوژن و ریفت های درون قاره	قوس قاره ای تا اقیانوسی
محیط کانسار	محیط ساحلی، دلتا، محیط رودخانه های کم عمق	دلتا، پلایای حوضه، محیط ساحلی	تایدال(جز ومد)	
سنگ میزبان	توالی آواری افق قرمز شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن است	ماسه‌سنگ‌های با بستر ضخیم، سیلتستون و شیل با وسعت کمتر	شیل تیره تا خاکستری، سیلتستون، سنگ رسی، دولومیت کربن دار	ماسه سنگ
هندسه	لایه ای با بستر افق لنزی	صفحه لنزی مطابق با بستر	بستر ورقه ای ولنزی	لایه ای و عدسی
بافت و ساختار	پراکنده، جانشینی، شبه لامینه، سیمان شده	پراکنده ، جانشینی	پراکنده، جانشینی، شبه لومینال، کلرفورم، سیمان	بافت جانشینی، سیمان میان بلوری، رگچه و پراکنده
کانی شناسی	کالکوسیت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، بورنیت، گالن، کالکوپیریت، پیریت، مس طبیعی، اسفالریت	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، پیریت، هماتیت و گوتیت
آلتراسیون غالب	شسته شده	شسته شده	شسته شده و دولومیتی شده	شسته شده
منبع مس	توالی افق قرمز	توالی افق قرمز	توالی افق قرمز	توالی افق قرمز
عناصر همراه	نقره-سرب-روی-اورانیوم±کبالت	نقره -سرب-روی±(مولیبدن)	کبالت-نقره-سرب-روی-ژرمانیم+طلا	نقره-سرب-روی
مثال	ناسیمنتو، کوروکورو	دیژاژگان، اسپارلیک	کوپرشیفر، زامبیا، کوموتو	*
رفرنس	[۲۶] [۲۷] [۳]	[۲۸] [۲۹] [۲]	[۳۰] [۳۱] [۲] [۱] [۳]	

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.9.2]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.335]

برداشت

در منطقه اکتشافی امیرآباد، کانی‌سازی به شکل لایه‌ای و عدسی در واحدهای ماسه‌سنگی و به مقدار بسیار محدود در واحد آندزیتی شناسایی گردید. ماسه‌سنگ‌های منطقه امیرآباد بیشتر از کوارتز، پلاژیوکلاز و خرده سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، تراکیت و به مقدار کمتر داسیت) تشکیل شده‌اند و ترکیب آرنایت سنگی تا کوارتزآرنایتی دارند. در بخش‌هایی با ترکیب بیشتر آرنایتی سنگی (درشت دانه) و دارای سنگواره-های گیاهی فراوان، کانی‌سازی رخ داده است. این شواهد نشان دهنده نقش عوامل احیایی (سنگواره‌های گیاهی) و نفوذ پذیری بالا (درشت دانه) در شکل‌گیری کانی‌سازی مس امیر آباد هستند. منطقه اکتشافی امیرآباد را می‌توان از نظر سنگ‌میزبان (ماسه‌سنگ)، کانی‌های اولیه سولفیدی (پیریت و کالکوسیت)، بافت و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی (وجود آثارگیاهی به عنوان عامل احیا کننده) شبیه کانسارهای مس‌رسوبی نوع سرخ لایه در نظر گرفت. تا کنون کانی‌سازی‌های متعددی در ارتباط با فعالیت‌های ماگمایی گرمابی در پهنه بینالود شناسایی گردیده است. کانسار مس امیرآباد نخستین گزارش از کانی‌سازی مس نوع رسوبی است. با توجه به گسترش واحدهای ماسه‌سنگی در شمال نیشابور، این احتمال وجود دارد که ذخایر مشابهی از این نوع کانی‌سازی در شمال نیشابور وجود داشته باشند که این نیازمند کارهای اکتشافی بیشتر است.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح شماره ۳/۵۴۵۳۰ انجام شده است. از خانم‌ها مهندس آرزو خسروی فورگ و مهندس مینا رمضانی که در بخش عملیات صحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Hitzman M., Kirkham R., Broughton D., Thorson J., Selley D., *" The sediment-hosted stratiform copper ore system"*. In Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.M., R.J., Goldfarb, Richards, J.P., (Ed.), One Hundered Anniversary volume. Economic Geology, Littleton (2005) 609-612.

[2] Cox D.P., Lindsey D.A, Singer D.A., Diggles M.F., *"Sediment-hosted copper deposits of the world-deposit models and database"*, U.S. Geological Survey, Canada, Open-file report 03-107, (2007) 50 p.

[3] Hayes T.S., Cox D.P., Piatak N.M., Seal R.R., *"Sediment-hosted stratabound copper deposit model "*, Survey, Virginia (2015) 147 p.

[4] Fazelnia M.S., Karimi M., Nouri Khankhedani, K., Hashemis, S.A., *"Introduction of Sedimentary Copper Mineralization in Demshahr Region"*, 17th Conference of Geological Society of Iran, (2012) 440-448.

[5] Arjamandzadeh R., Sharifi Tashnizi A., Ahmadi A., Mahdavi A., Tusli S., Vadbiri R., *"Mineralogy, Geochemistry and Genesis of Copper-Uranium Sedimentary Deposit of Aghle Mesi, Tabas Block, Central Iran",* Earth Science Researches, 11 (2019) 47-70.

[6] Maghfouri S., Rastad E., Borg G., Hosseinzadeh M. R., Movahednia M., Mahdavi A., Mousivand F., *"Metallogeny and temporal–spatial distribution of sediment-hosted stratabound copper (SSC-type) deposits in Iran; implications for future exploration"*, Ore Geology Reviews, 127 (2020) 103-834.

[7] Alavi M., *"Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran"*, Geological Society of America Bulletin, 103 (1991) 983-992.

[8] Bauman A., Spies O., Lensch G., *"Strontium isotopic composition of post-ophiolithic tertiary volcanics between Kashmar, Sabzevar and Qucha NE Iran"*, in Almassi A. (eds.), Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (1983) 267-276.

[9] Spies O., Lensch G., Mihem A., *"Chemistry of the post_ophiolithic tertiary volcanic between Sabzevar and Quchan, NE ran"*, in Almassi A. (eds.), Geodynamic Project (geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (1983) 247-266.

[10] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Esfandiarpour A., Mohammadnejad H., *"Nyshabour Turquoise mine: The first Cu-Au-*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.9.2]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.335]

Copper Deposit, Northwestern Zanjan ", Scientific-Research Quarterly of Earth Sciences 96 (2013) 249-262.

[22] Roser B. P., Korsch R. J., *"Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO2 content and K_2O/Na_2 Oratio"*, Journal of Geology 94 (1986) 635- 650.

[23] Bhatia M. R., Crook K. A. W., *"Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 92 (1986) 181-193.

[24] Cox D. P., Carrasco R., André-Ramos O., Hinojosa-Velasco A., Long K. R., *"Copper deposits in sedimentary rocks in U.S "*, In Bleiwas, D.I. and Christiansen, R.G., (Eds.), Geology and Mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia with a section on Application of economic evaluations to deposit models; Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia, Geological Survey Bulletin (1991) 95-108.

[25] Thorson J. P., *"Paradox Basin sandstone-hosted copper deposits generated by two episodes of basinal fluid expulsion "*, Geological Society of America, Abstracts with Programs 36 (2004) 517p.

[26] Woodward L. A., Kaufman W. H., Schumacher O. L., Talbott L. W., *"Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico "*, Economic Geology 69, (1974) 108-120.

[27] Avila-Salinas W., *"Origin of the copper ore at Corocoro "*, Bolivia in Fontbote, Amstutz, G.C., Cardozo, M., Cedillos, E., Frutas, J., eds., Stratabound ore deposits of the Andes. Berlin-Heidelberg, Springer Verlag (1990) 659-670.

[28] Gablina I.F., *" New data on formation conditions of the Dzhezkazgan copper deposit "*, International Geology Review 23 (1981) 1303-1311.

[29] Adkins A.R., *" Geology of the Montanore stratabound Cu-Ag deposit, Lincoln and Sanders Counties, Montana "*, Belt Symposium III, Program and Abstracts, Whitefish, Montana, USA. (1993).

ULREE IOCG type in Iran. Iranian Journal of Economic Geology", 3 (2012) 193-216.

[11] Zarei A., Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., *"Geochemistry and Genesis of Iron-apatite Ore in the Khanlogh Deposit, Eastern Cenozoic Quchan-Sabzevar Magmatic Arc, NE Iran"*, Acta geologica sinica 90 (2016) 121-137.

[12] Asadzadeh Z, Heydarian Shahri M.R., Malekzadeh Shafaroudi A, *"Geology, mineralogy and geochemistry of copper exploration area of Al-Majuq, Khorasan-Razavi province"*, Second International Congress of Applied Geology, Islamic Azad University of Mashhad (2014) 328-336.

[13] Ghaemi F., Hosseini K., *"Geological map of Neishabur"* Scale 1:100,000, Organization of Geology and Mineral Exploration of Iran (1999).

[14] Folk R.L., *"Petrology of sedimentary Rocks"*, Austin, Texas, Hemphill (1980)159 p.

[15] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[16] Boyle R. W., Brown A. C., Jefferson C. W., Jowett E. C., Kirkham R. V., *"Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geological Association of Canada"*, Special Paper 36 (1989) 710 p.

[17] Kirkham R. V., *"Sediment-hosted stratiform copper. Geological Survey of Canada, Geology of Canada"*, 8 (1995) 223-240.

[18] Brown A. C., *"World-class sediment-hosted stratiform copper deposits characteristics, genetic concepts and metallotects "*, Australian Journal of Earth Sciences 44 (1997) 317-328.

[19] Brown A. C., *"Global-scale constraints on the formation of sediment-hosted stratiform copper deposits"*, Proceedings, International Cornet symposium, Mons (1997) 93-102.

[20] Brown, A. C., *"sorkh layeh: source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium–vanadium deposits"*, Geological Association of Canada, Geotext 4 (2003) 121-133.

[21] Bikdeli Z., Ebrahimi M., Nabatian Q., Mokhtari M.A., *"Mineralization, Mineralogy, Structure and Texture of Cheharabad Sedimentary*

Association of Canada, Special Paper 36, Canada (1989) 427-452.
[31] Oszczepalski S., "*Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland*", Mineralium Deposita 34 (1999) 599-613.
[30] Annels A.E., " *Ore genesis in the Zambian Copper belt, with particular reference to the northern sector of the Chambishi basin*", In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett E.C., Kirkham R.V. (Ed.), Sediment - hosted Stratiform Copper Deposits. Geological